

**Vergleichende Messungen
zur Streustrahlenbelastung von Patienten
bei Bestrahlung mit Röntgenstrahlen
verschiedener Härte**

von

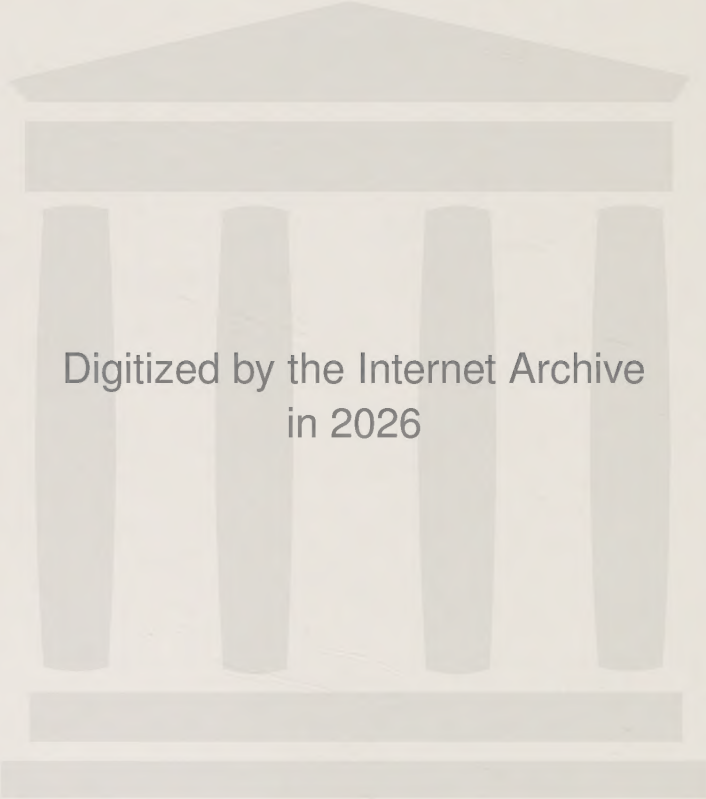
Ulf Lorenz

aus

Schwäbisch Hall

1968

1968 № 132



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546302_0094

Aus der Medizinischen Klinik
der Universität Erlangen-Nürnberg
(Direktor: Professor Dr. med. L. Demling)

**Vergleichende Messungen
zur Streustrahlenbelastung von Patienten
bei Bestrahlung mit Röntgenstrahlen
verschiedener Härte**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
der Hohen Medizinischen Fakultät
der Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg

vorgelegt

von

Ulf Lorenz

aus

Schwäbisch Hall

Gedruckt mit Erlaubnis der Medizinischen Fakultät
der Universität Erlangen-Nürnberg



Dekan: Professor Dr. med. Erik Wetterer
Referent: Professor Dr. med. Ludwig Demling

Tag der mündlichen Prüfung: 8. April 1968

Meinen lieben Eltern
sei diese Arbeit in Dankbarkeit gewidmet.

I.	FRAGESTELLUNG	1
	1) Auftreten von Streustrahlung	
	a) Arten der Streustrahlung	
	b) Welche Streustrahlung überwiegt hier?	
	2) Begründung des Themas	
	a) Bedeutung für die Belastung der Patienten bei hohen Herddosen der fraktionierten Bestrahlung und bei der Wahl der Bestrahlungsbedingungen	
	b) Gonadenschutz - Sinn von Bleiabdeckungen	
II.	VERSUCHSANORDNUNG	5
	a) Apparate und Geräte	
	b) Bestrahlungsmethoden	
	c) Phantom	
	d) Dosimeter und Kammer	
	e) Vorbereitung der Messungen	
III.	DURCHGEFÜHRTE MESSUNGEN	8
	a) Einstellung	
	b) Aufstellung und Auswertung der Diagramme	
	c) Gonadenschutz mit Bleiabdeckungen	
IV.	DISKUSSION	29
V.	ZUSAMMENFASSUNG	38
VI.	LITERATURVERZEICHNIS	41
VII.	LEBENS LAUF	44

I. FRAGESTELLUNG

1) Auftreten von Streustrahlen

a) Arten der Streustrahlung

Beim Durchgang durch eine Materieschicht treten bei Röntgenstrahlen zwei Erscheinungen auf. Einmal die Absorption und zum anderen die Streuung. Die Schwächung der Röntgenstrahlen hat im wesentlichen drei Anteile, die Photoabsorption, den Comptoneffekt und die Paarbildung (1). Bei allen drei Prozessen können durch Röntgenstrahlen ausgelöste freie Elektronen als auch gestreute Röntgenstrahlen auftreten.

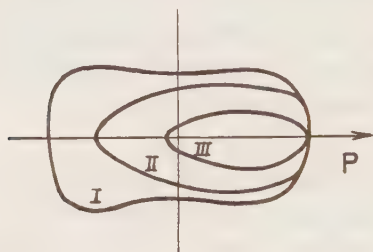
Die Sekundärstrahlung, die durch Streuprozesse der primären Röntgenstrahlen beim Auftreffen auf ein Atom oder ein Molekül entsteht, wird Streustrahlung genannt.

Die charakteristische Eigenstrahlung eines Atoms, ausgelöst durch den Photoeffekt, ist bei der Untersuchung von Streustrahlung bei den benutzten Energien - 200 kV, 300 kV, Co60, 17 MeV - von geringerer Bedeutung, da bei den untersuchten Energien die Comptonstreuung überwiegt.

Während die charakteristische Eigenstrahlung nur unter bestimmten Bedingungen entsteht, tritt die Streustrahlung stets auf, wenn ein Stoff von Röntgenstrahlen getroffen wird. Streuung bedeutet fast immer die Ablenkung eines Strahlenquants aus seiner primären Richtung durch Wechselwirkung mit den Atomen. Es gibt zwei Arten von Streustrahlung, die klassische Streuung und die Comptonstreuung (2).

Bei der klassischen Streuung (kohärente Streuung) erfährt die primäre Röntgenstrahlung eine Richtungsänderung ohne Energieverlust, während bei der Compton-Streuung (inkohärente Streuung) außerdem die Energie der gestreuten Quanten gegenüber den primär einfallenden verkleinert ist.

Die Emission der klassischen Streustrahlung erfolgt nicht gleichmäßig nach allen Richtungen.



I) 15 kV, II) 150 kV, III) 1275 kV

Abb. 1: Richtungsabhängigkeit der Streustrahlung leichtatomiger Stoffe bei verschiedenen Röntgenwellenlängen (2)

Die Intensitätsverteilung hängt vom Winkel ϑ zwischen Primärstrahl und Streustrahlungsrichtung ab. Für den Massenschwächungskoeffizienten ergibt sich nach Messungen von Balz, Birkner und Wachsmann für Knochen, Knorpel, Muskel, Hirn, Wasser, Fett und Knochenmark ab einer Spannung von etwa 200 kV ein Koeffizient, der auf das 0,66 fache gegenüber Luft abfällt (3).

Weiter ergibt sich aus der Größe des Winkels ϑ , daß die Streustrahlungsintensität in und entgegengesetzt zur Primärstrahlung ($\vartheta = \pm 180^\circ$) für kleine Energien annähernd doppelt so groß ist wie senkrecht dazu ($\vartheta = \pm 90^\circ$).

Bei der Compton-Streuung erfährt das Strahlungsquant außer der Richtungsänderung seiner Bahn noch einen Energieverlust; somit kommt dem Streuquant eine größere Wellenlänge zu. Der Winkel φ der Streurichtung und die Emissionsrichtung der Compton-Elektronen sind voneinander abhängig. Auch hier kann φ Werte zwischen 0° und $\pm 180^\circ$ annehmen.

In Abb.1 Kurve II und III wird gezeigt, daß auch beim Compton-Effekt die Emission der Streuquanten mit kleiner werdender Primärwellenlänge, d.h. bei größerer Energie der Röntgenstrahlung, immer mehr die Primärstrahlrichtung bevorzugt.

Der dritte Prozeß, die Paarbildung, setzt bei Energien über 1,02 MeV der Quanten ein.

b) Welche Streustrahlungsart überwiegt bei den einzelnen Energien?

Den prozentualen Anteil der verschiedenen Streustrahlungsarten an der gesamten Schwächung in H_2O zeigt folgende Tabelle (2,5):

		Klassische Streuung	Compton Streuung
200 kV	76 KeV	2,7 %	83,3 %
300 kV	114 KeV	1,73 %	87,5 %
Co 60	1,2 MeV	-	52,93 %
17 MeV	-	-	16,84 %

Die Prozentangaben sind überschlagsmäßig errechnet.

Bei der Messung von Streustrahlen darf die zurückgestreute Strahlung aus dem Phantom nicht vernachlässigt werden. Die rückgestreute Strahlung erreicht bei einer HWD von 0,5 mm Cu einen maximalen Wert (4).

Der Rückstrefaktor hängt von der Dicke des Patienten, der Strahlungsqualität des Primärbündels und der Feldgröße ab. Der Rückstrefaktor fällt ab einer Energie von etwa 200 kV - 0,4 mm Cu Filterung mit zunehmender Strahlungshärte ab und erreicht bei Co 60 fast 0. Bei einer 22 MeV-Röntgenstrahlung am Betatron hat der Rückstrefaktor den Wert 0 erreicht (5, 6, 7, 8).

2) Begründung des Themas

- a) Die prozentuale Verteilung der Streustrahlung im gesamten Körper gewinnt heute bei der Tumorbestrahlung immer mehr an Bedeutung. Da man Herddosen von 5000 - 6000 R (9) zu verabreichen sucht, kann die Streustrahlung an einem vom Einstrahlungsgebiet entfernt gelegenen Körperabschnitt bei der hohen Gesamtdosis eine nicht zu unterschätzende Belastung darstellen. Aus diesem Grund ist die Wahl der Bestrahlungsbedingungen und die Bestrahlungsplanung von großer Wichtigkeit und somit hat die Messung der Streustrahlung eine praktische Bedeutung.

Die Aufgabe der vorliegenden Arbeit war es nun, die Streustrahlendosis in den außerhalb des Strahlenkegels liegenden Körpergegenden systematisch zu untersuchen, um später anhand von Kurven schneller die Streustrahlenbelastung irgendeines Körperteils wie z.B. der Körperoberfläche über der Lunge, Leber oder Milz zu erhalten und dann möglicherweise Rückschlüsse auf die Dosis an den Testes und den tiefliegenden Organen zu ziehen. Deshalb wurden vergleichende Streustrahlungsmessungen an der Körperoberfläche bei verschiedenen Strahlungsenergien und deren Konsequenzen für die Wahl der Bestrahlungsbedingungen angestellt. Die Messungen wurden an der Körperoberfläche vorgenommen, da man im Phantom nur schwer messen kann. Diese so gemessene Streustrahlung wird

in engem Zusammenhang stehen mit der den Körperteil unmittelbar unter der Haut belastenden Dosis.

b) Gonadenschutz

Hieraus stellte sich noch die Frage, ob es sinnvoll ist, mit Bleiabdeckungen zu arbeiten. Es wurden drei verschiedene Abdeckungsarten aus Blei von unterschiedlicher Schichtdicke benutzt, zwei Schürzen von 0,25 mm bzw. 0,5 mm, eine Hodenkapsel von 1 mm und ein Ovarfächer von 0,5 mm.

II VERSUCHSANORDNUNG

a) Apparate und Geräte

Als Röntgeneratoren bzw. Strahlenquellen (SRW-Erlangen) wurden benutzt:

1) STABILIPAN 300

200 kV-Filter: 0,2 mm Cu-HWD 1,0 mm Cu) konstante
300 kV-Filter: Thoräus III-HWD 4,0 mm Cu) Röhren-
spannung

(Die Filterung nach Thoräus III entspricht:

1,2 mm Sb, 0,25 mm Cu und 1 mmAl)

2) Gammatron: Co 60 - Quelle

Anfangsaktivität: 2357 Ci

16 Monate später z. Z. der Messungen betrug
die Aktivität: 1980 Ci.

3) Betatron von 17 MeV für ultraharte Röntgenstrahlen (10)

Mit ultraharten Röntgenstrahlen des Betatrons wurden die Messungen in jeweils einer Serie mit dem Homogenitätsfilter Nr. 3 und ohne Homogenitätsfilter durchgeführt.

b) An allen Geräten wurden die Streustrahlungsmessungen für Pendel- und Stehfeldbestrahlung gemacht.

c) Phantom:

Das verwandte Phantom (Abb. 2) ist für die Streustrahlungsmessung besonders gut geeignet, da in ihm ein Skelett eingearbeitet und es darüberhinaus dem menschlichen Körper gewebeäquivalent ist.



Abb. 2 Phantom

d) Dosimeter und Kammer

Ein für diese Messungen geeignetes Dosimeter soll einen gut ablesbaren Ausschlag während der Meßzeit (1 min) ergeben und eine geringe Energieabhängigkeit über einen großen Energiebereich besitzen.

Der zweite Punkt ist deswegen besonders wichtig, weil die Energie der Streustrahlung, im Gegensatz zur Primärstrahlung, nicht bekannt ist und man also auch keine Korrekturfaktoren für die Energieabhängigkeit verwenden kann. Wie Distel, Drexler und Wachsmann (11), Rakow (12) und Roßbänder (13) gezeigt haben, sind für solche Messungen nur ganz wenige Dosimeter geeignet.

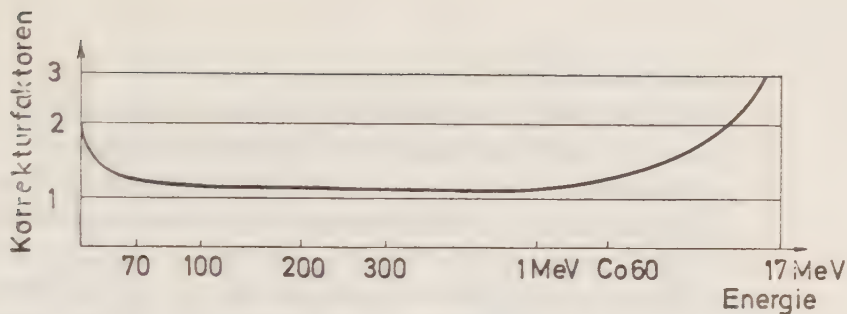


Abb. 3 Energieabhängigkeit des EIL-Dosisleistungsmessers mit Ionisationskammer (11) (Atompraxis 2, 1963).

Eines dieser Dosimeter, nämlich ein englisches Gerät von der Firma Electronic Instruments Limited, Model 37 A, Portable Electrometer, mit einer Ionisationskammer von 40 cm^3 Rauminhalt und einer Empfindlichkeit von $10^4 \times 15 \text{ mR}$ bis zu $15 \text{ mR/Skalenendausschlag}$, wurde für unsere Messungen verwendet. Die Kammer war über ein doppelt abgeschirmtes Kabel mit dem Dosimeter verbunden. Mit diesem Dosimeter war es möglich, wahlweise die momentane Dosisleistung oder die Dosis integrierend zu messen.

e) Vorbereitung der Messungen

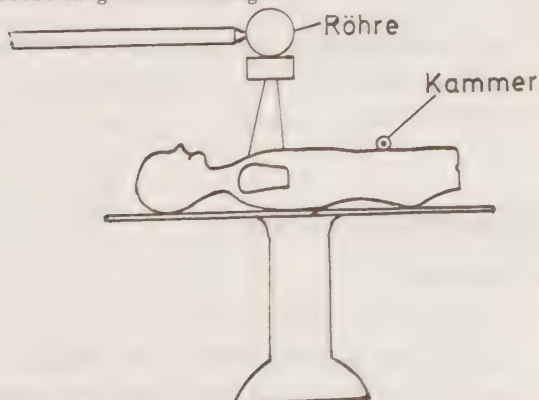


Abb. 4 Versuchsaufbau in Seitenansicht (schematisch)

Das Phantom auf dem Bestrahlungstisch wurde unter der senkrecht stehenden Röhre mittels einer Lichtmarke am Pendelgerät zentriert (s. Abb. 4). Nun wurde die Achsen- bzw. Tumortiefe eingestellt und das Feld ausgeblendet. Der Mittelpunkt der Hautfelder wurde genau in das Fadenkreuz des Lichtvisiers gebracht (14). Fokuserdabstand, Feldgröße und Herdtiefe waren bei der Stehfeld- und Pendelbestrahlung für jede Einstellung aus Gründen der Einfachheit und der Vergleichbarkeit gleich groß. Die Kammer wurde senkrecht zur Körperlängsachse horizontal auf das Phantom gelegt (s. Abb. 4). Die Meßpunkte wurden in etwa 10 cm Abständen cranial- und caudalwärts vom Zentralstrahl des Bestrahlungsfeldes an der Körperoberfläche gewählt.

Die Bestrahlungszeit betrug für die Stehfelder eine Minute; für die Pendelbestrahlung wurde der Pendelwinkel zweimal durchlaufen. Die Streustrahlung wurde auf eine mittlere Dosis im Herd bezogen. Bei den ultraharten Röntgenstrahlen des Betatrons ist es sinnvoll, wegen der schwankenden Dosisleistung die Bestrahlungszeit nicht in Minuten einzustellen, sondern man bezieht sich auf einen geeichten Monitorwert. Für die Stehfeld- bzw. Pendelbestrahlung wurden am Monitor 5 Skalenteile bzw. 20 Skalenteile eingestrahlt.

Die Bestrahlungsfelder und Meßpunkte wurden genau markiert, so daß bei jeder Energie exakt vergleichbare Versuchsbedingungen vorlagen.

III DURCHGEFÜHRTE MESSUNGEN

a) Einstellung

Die Messungen wurden bei einem Achsen- bzw. Fokuserdabstand von 60 cm durchgeführt. Beim Betatron konnten aus Gründen des Strahlenschutzes nicht immer dieselben Pendelwinkel

wie bei den anderen Geräten eingestellt werden; daher konnte hier nur bis maximal $\pm 100^\circ$ gependelt werden. Außerdem ist die Feldgröße beim Betatron nicht kontinuierlich variierbar, sondern es müssen hierfür Tubusse benutzt werden. Es wurde mit dem größten rechteckigen Tubus, A_3 , mit einer Feldgröße von $6,2 \times 7,7$ cm bei einem Fokuserdabstand von 50 cm bestrahlt. Das hierbei verwendete Homogenitätsfilter Nr. 3 diente der gleichmäßigen Ausstrahlung des Feldes. Ohne Filter wird das Feld nicht homogen ausgeleuchtet.

b) Auswertung und Aufstellung der Diagramme

Alle Meßwerte der Streudosen beider Bestrahlungsmethoden (Pendel- und Stehfeldbestrahlung) wurden auf die Herddosis bezogen. Da bei einer Bestrahlung die Herddosis bekannt ist, kann leicht der Prozentsatz der Streustrahlendosis für die einzelnen Meßpunkte aus den gemessenen Werten ermittelt werden.

Pendelbestrahlung:

Die Herddosisleistung wurde nach folgender Formel (9) ermittelt:

Herddosisleistung (R/min)

$$= \text{Röntgenwert} \times \text{Faktor}_{\text{Tiefe}} \times \text{Faktor}_{\text{Gewebe}}$$

Der Faktor_{Tiefe} wurde aus den Schwächungskurven von Keller (15) abgelesen. Der Gewebefaktor (16) betrug bei den einzelnen Einstellungen für folgende Energien:

Rechter Bronchus und Cardia (3)	200 kV	= 1,5
	300 kV	= 1,45
	Co 60	= 1,1
	17 MeV	= 1,0

Hypophyse:	200 kV	= 0,9
	300 kV)	
	Co 60)	= 1,0
	17 MeV)	

Rectum:	200 kV)	= 0,85
	300 kV)	
	Co 60)	= 1,0
	17 MeV)	

Für alle anderen Einstellungen wie rechte und linke Niere, Blase und rechtes Parametrium betrug der Gewebefaktor 1,0.

Stehfeld:

Aus den Schwächungskurven wurde bei Kenntnis der Herdtiefe und der Feldgröße die Minderung der Dosisleistung in Prozenten des Röntgenwertes ermittelt und ins Verhältnis zum Röntgenwert gesetzt, was die Herddosisleistung ergab.

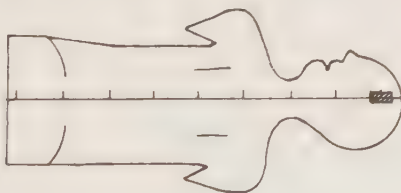
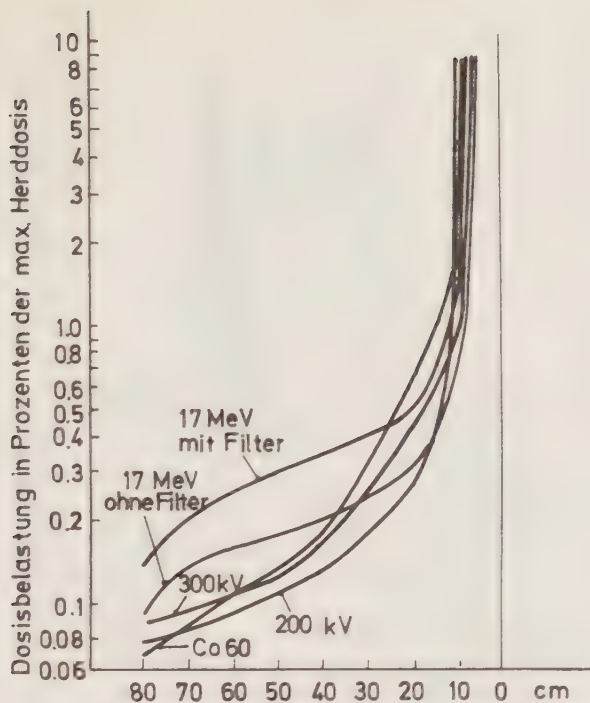


Abb. 5:

Dosisbelastung außerhalb des Nutzbündels an der Oberfläche eines Phantoms.
 Bestrahlungsbeding.: Stehfeldbestrahlung der Hypophyse in Bauchlage; Haut-
 feldgröße 2x5 cm, Tumortiefe 7,5 cm.

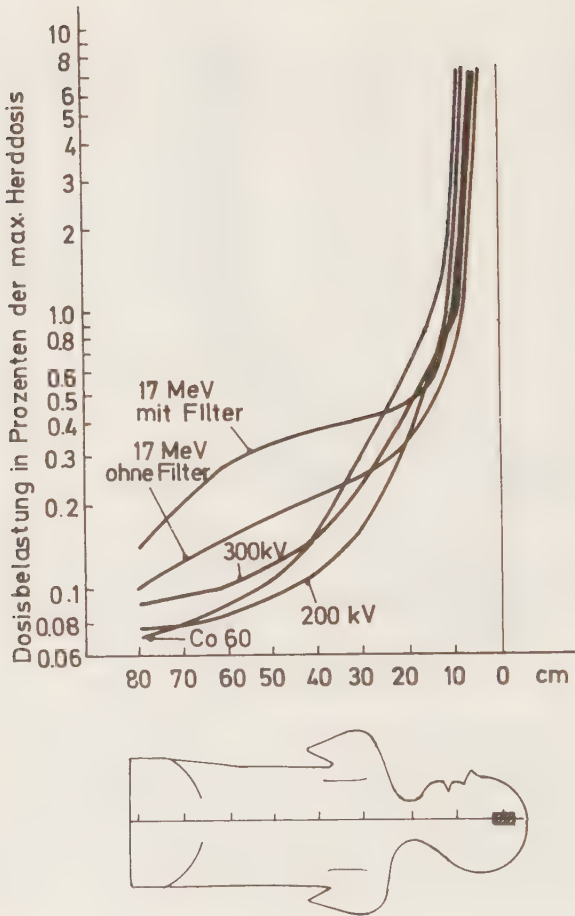


Abb. 6:

Dosisbelastung außerhalb des Nutzbündels an der Oberfläche eines Phantoms. Bestrahlungsbeding.: Pendelbestrahlung der Hypophyse in Bauchlage; Feldgröße 2×5 cm, Achsentiefe 7,5 cm, Pendelwinkel $\pm 90^\circ$.

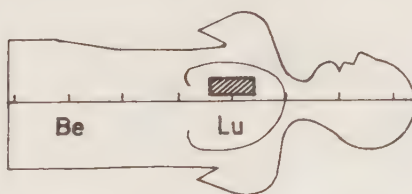
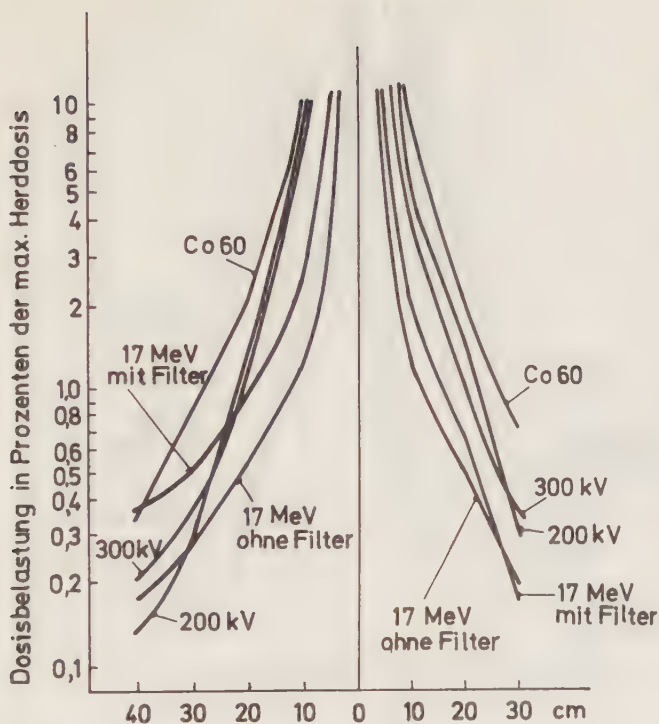


Abb. 7:

Dosisbelastung außerhalb des Nutzbündels an der Oberfläche eines Phantoms.
 Bestrahlungsbedingg.: Stehfeldbestrahlung des re. Hilus von ventral, Hautfeld-
 gröÙe 5x12 cm, Tumortiefe 8 cm.

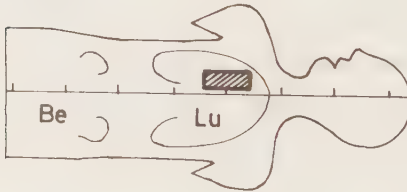
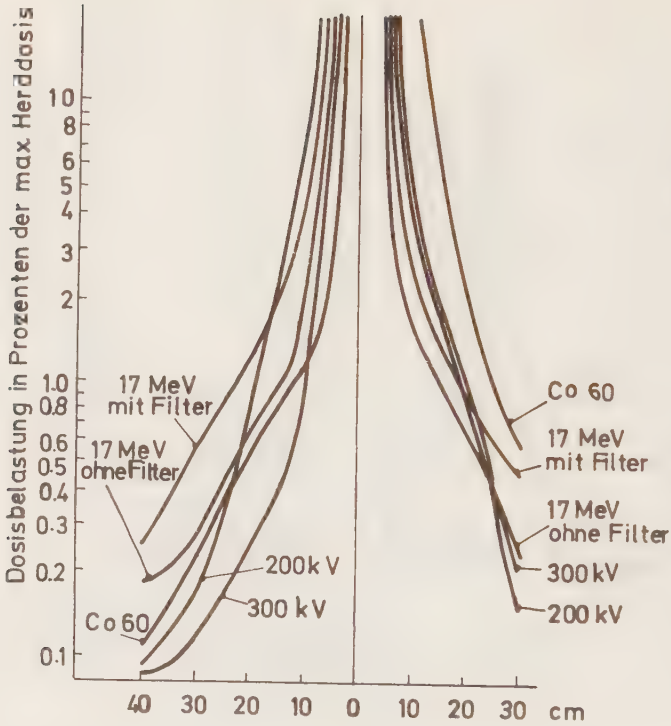


Abb. 8:

Dosisbelastung außerhalb des Nutzbündels an der Oberfläche eines Phantoms. Bestrahlungsbedingg.: Pendelbestrahlung des re. Hilus von ventral, Feldgröße 5x12 cm, Achsentiefe 8 cm, Pendelwinkel 210° (von -30° bis $+180^{\circ}$).

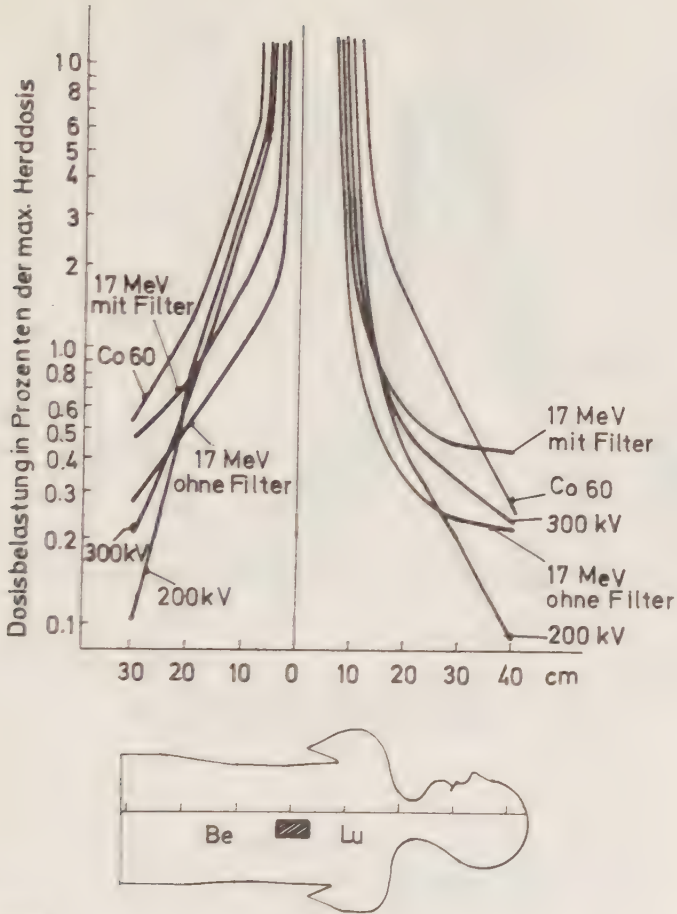


Abb. 2:

Dosisbelastung außerhalb des Nutzbündels an der Oberfläche eines Phantoms.
 Bestrahlungsbeding.: Stehfeldbestrahlung des Magens (Cardia), Hautfeld-
 gröÙe 5x10 cm, Tumortiefe 10 cm.

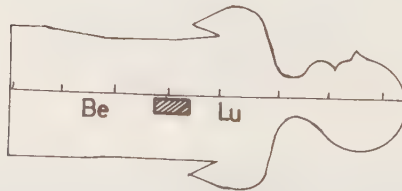
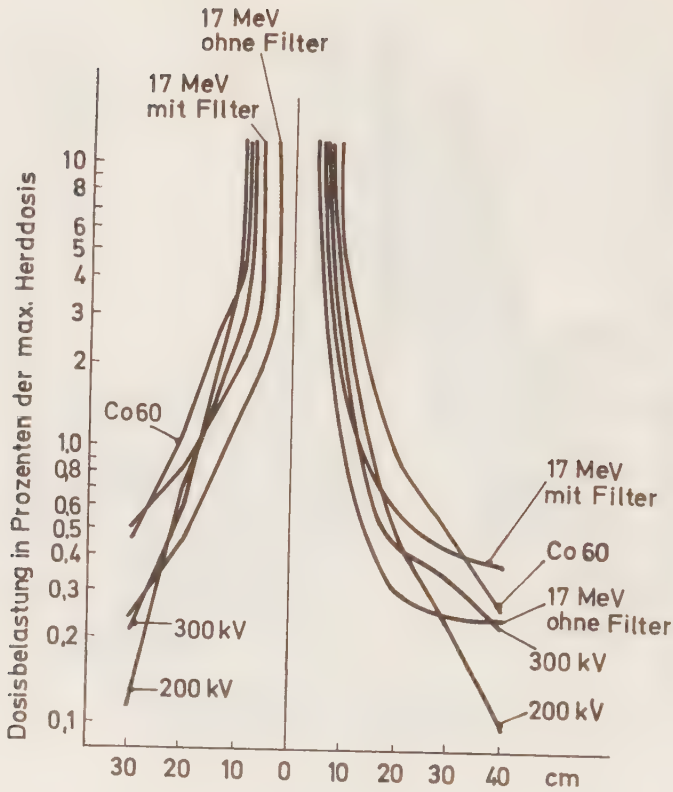


Abb. 10:

Dosisbelastung außerhalb des Nutzbündels an der Oberfläche eines Phantoms.
 Bestrahlungsbedingg.: Pendelbestrahlung des Magens (Cardia), Feld-
 gröÙe 5x10 cm, Achsentiefe 10 cm, Pendelwinkel $\pm 90^\circ$.

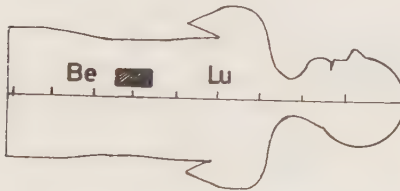
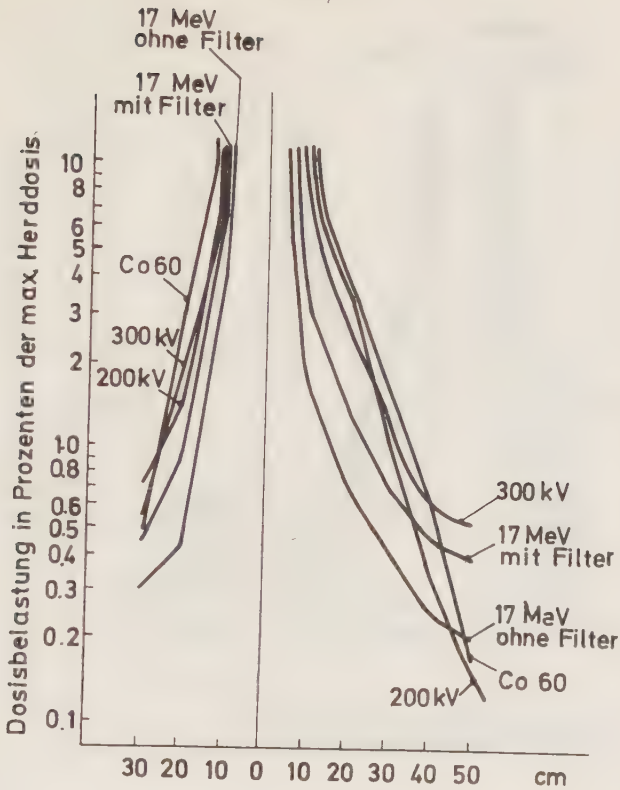


Abb. 11:

Dosisbelastung außerhalb des Nutzbündels an der Oberfläche eines Phantoms.
 Bestrahlungsbeding.: Stehfeldbestrahlung der re. Niere von ventral, Haut-
 feldgröße 6x12 cm, Tumortiefe 14 cm.

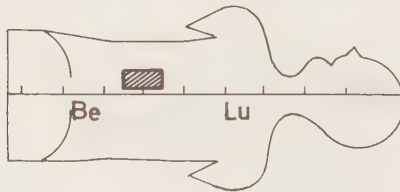
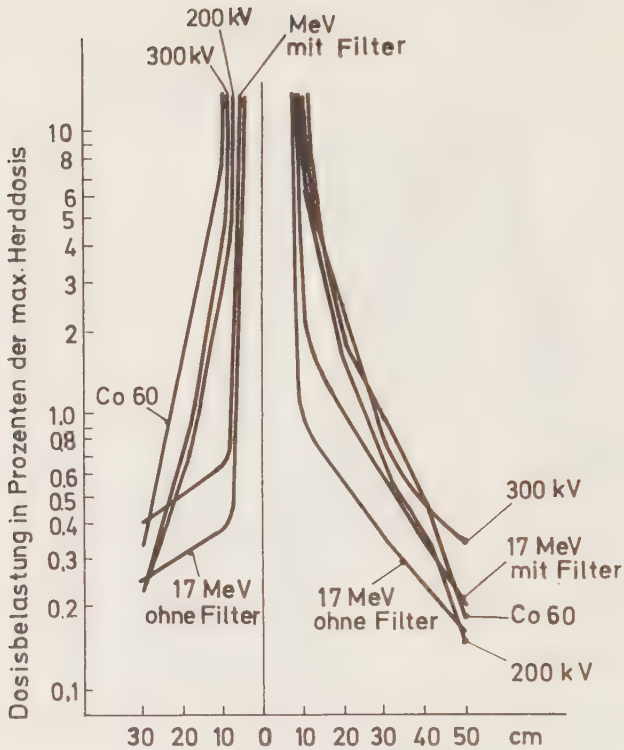


Abb. 12:

Dosisbelastung außerhalb des Nutzbündels an der Oberfläche eines Phantoms.
 Bestrahlungsbeding.: Pendelbestrahlung der re. Niere von ventral, Feld-
 gröÙe 6x12 cm, Achsentiefe 14 cm, Pendelwinkel 210° (von -30° bis $+180^{\circ}$)

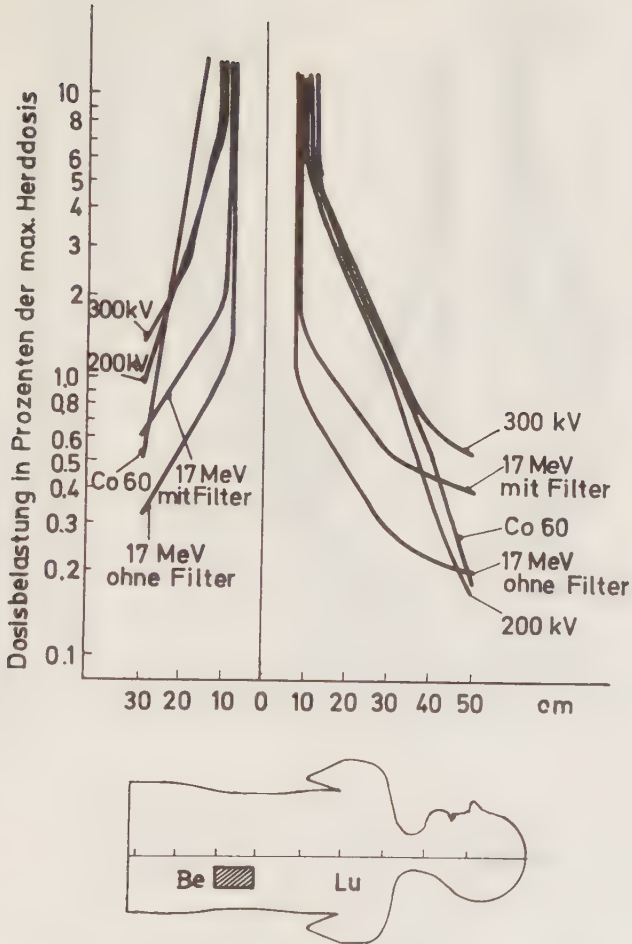


Abb. 13:

Dosisbelastung außerhalb des Nutzbündels an der Oberfläche eines Phantoms. Bestrahlungsbedingg.: Stehfeldbestrahlung der lk.Niere von ventral, Hautfeldgröße 6x12 cm, Tumortiefe 14 cm.

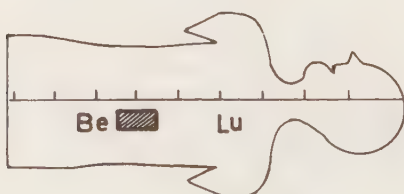
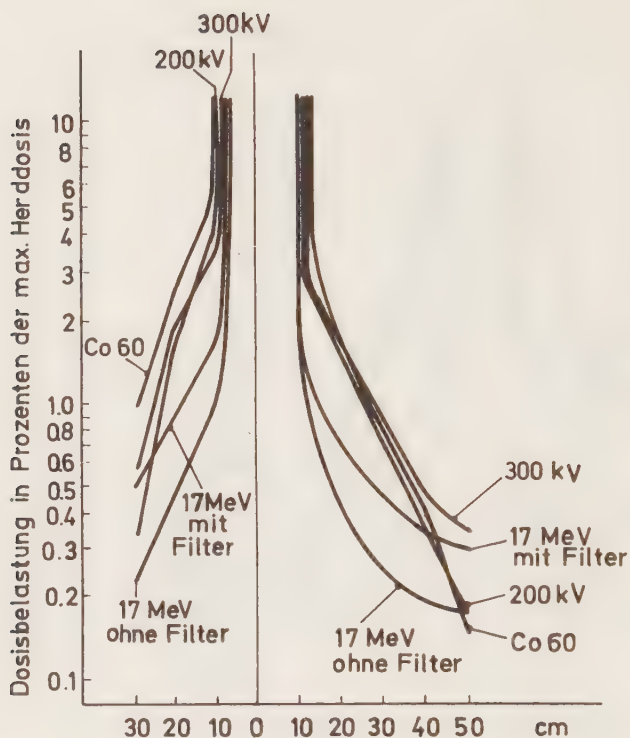


Abb. 14:

Dosisbelastung außerhalb des Nutzbündels an der Oberfläche eines Phantoms.
 Bestrahlungsbedingg.: Pendelbestrahlung der lk. Niere von ventral, Feld-
 gröÙe 6x12 cm, Achsentiefe 14 cm, Pendelwinkel 210° (von -30° bis + 180°).

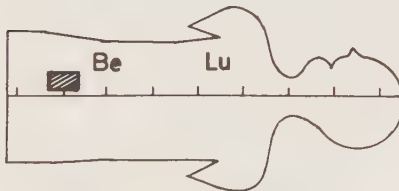
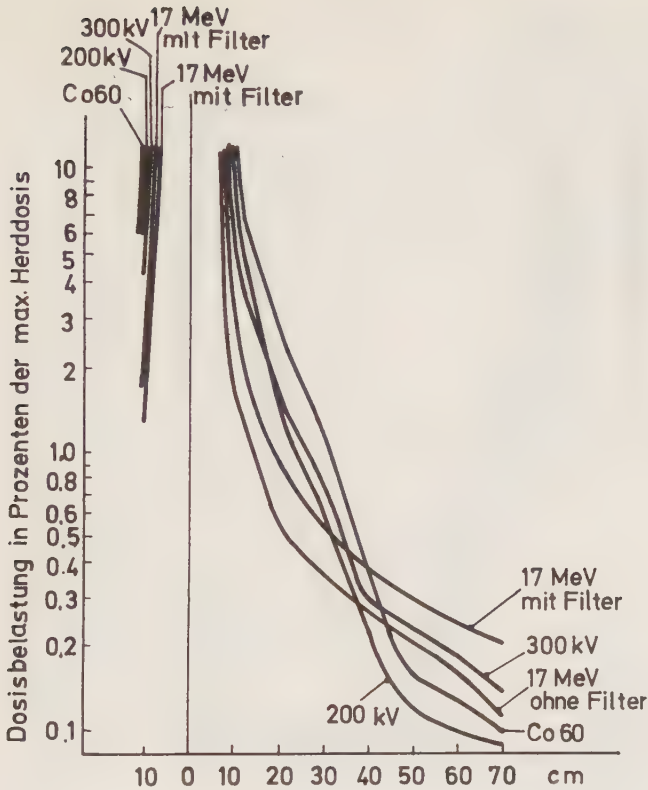


Abb. 15:

Dosisbelastung außerhalb des Nutzbündels an der Oberfläche eines Phantoms.
Bestrahlungsbeding.: Stehfeldbestrahlung des re. Parametriums, Haut-
feldgröße 7x7 cm, Tumortiefe 12 cm.

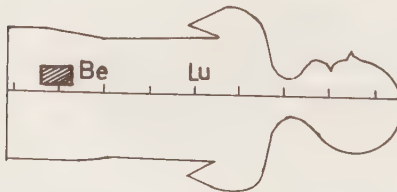
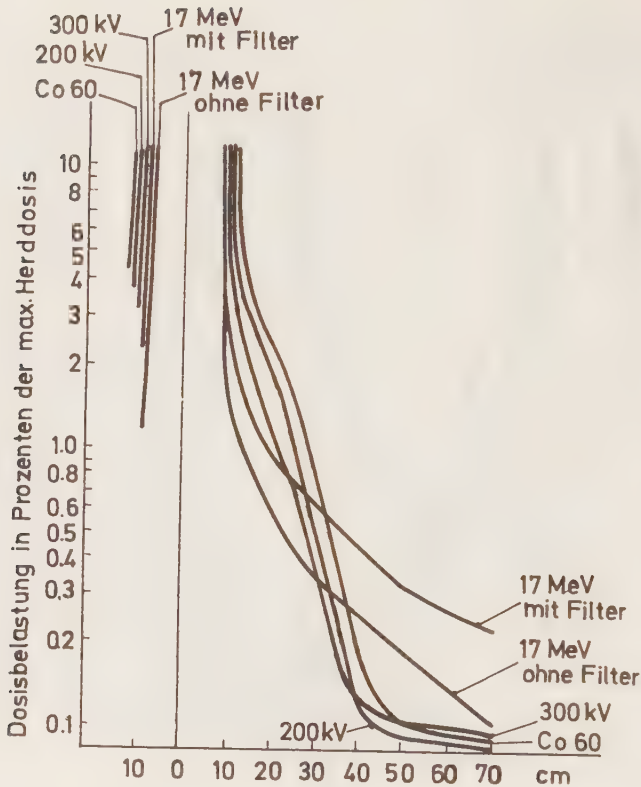


Abb. 16:

Dosisbelastung außerhalb des Nutzbündels an der Oberfläche eines Phantoms.
Bestrahlungsbeding.: Pendelbestrahlung des re. Parametrium, Feld-
größe 7x7 cm, Achsentiefe 12 cm, Pendelwinkel 190° (von -30° bis + 160°).

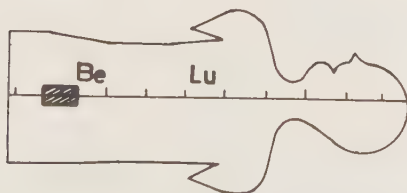
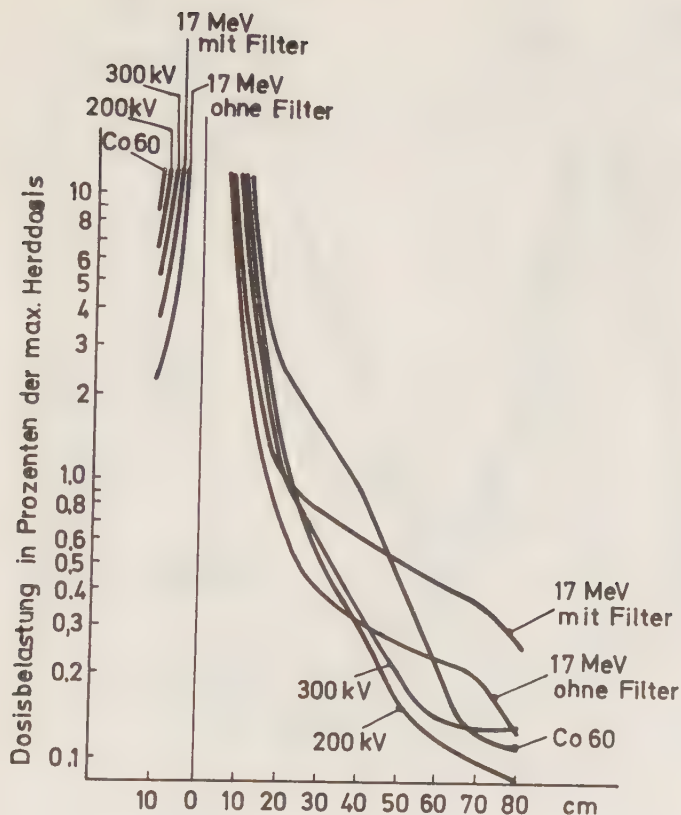


Abb. 17:

Dosisbelastung außerhalb des Nutzbündels an der Oberfläche eines Phantoms.
 Bestrahlungsbedingg.: Stehfeldbestrahlung der Blase, Hautfeldgröße 5x10 cm,
 Tumortiefe 10 cm.

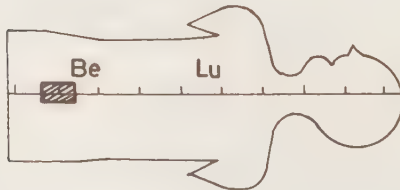
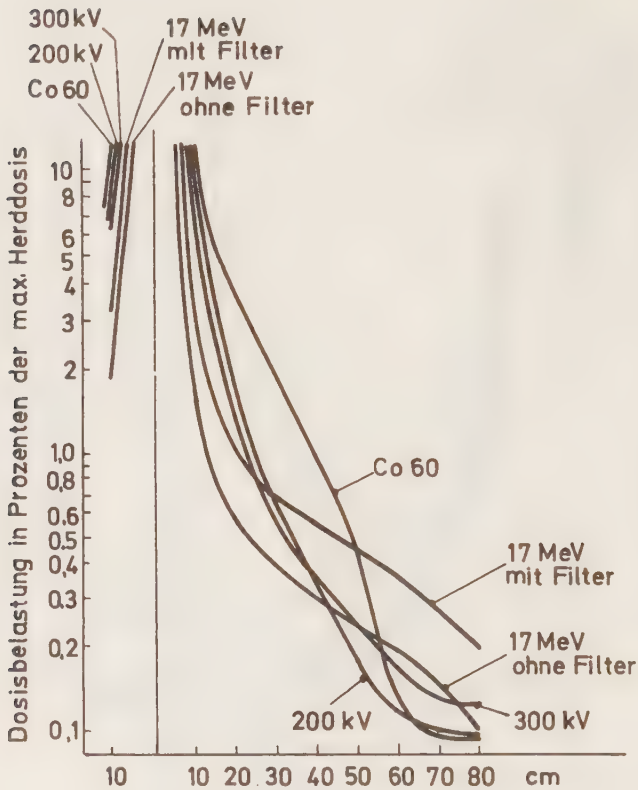


Abb. 18:

Dosisbelastung außerhalb des Nutzbündels an der Oberfläche eines Phantoms.
 Bestrahlungsbeding.: Pendelbestrahlung der Blase, Feldgröße 5×10 cm,
 Achsentiefe 10 cm, Pendelwinkel $- 90^\circ$.

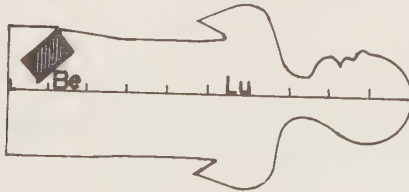
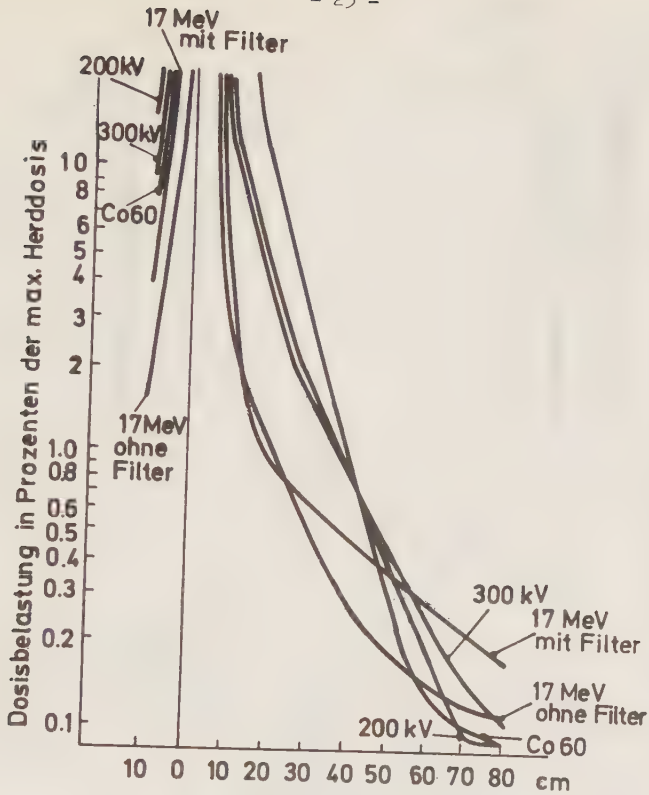


Abb. 19:

Dosisbelastung außerhalb des Nutzbündels an der Oberfläche eines Phantoms.
Bestrahlungsbedingg.: Stehfeld der Hüftarthrose von ventral, Hautfeld-
größe 10x15 cm, Herdtiefe 12 cm.

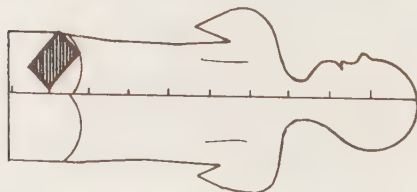
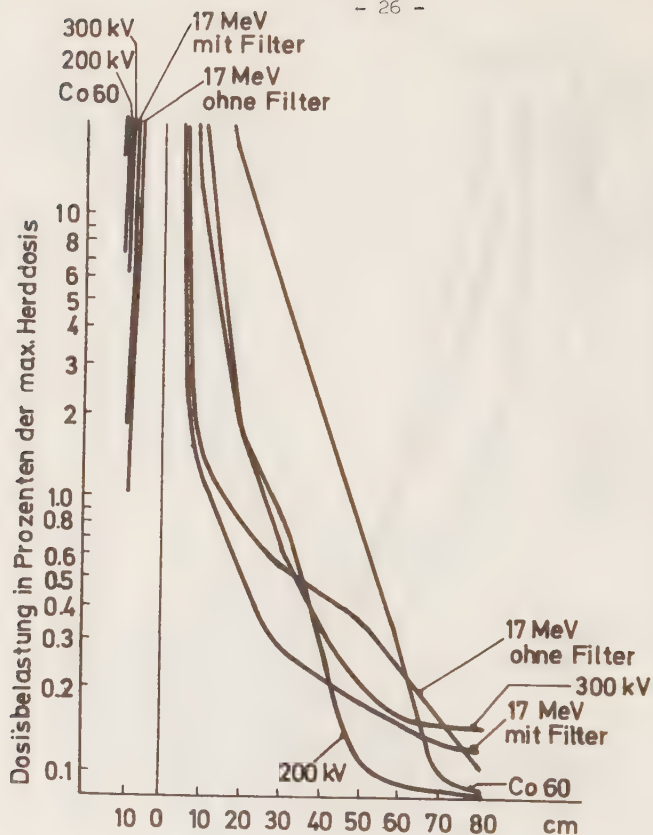


Abb. 20:

Dosisbelastung außerhalb des Nutzbündels an der Oberfläche eines Phantoms.
 Bestrahlungsbedingg.: Stehfeldbestrahlung der Hüftarthrose von dorsal,
 Hautfeldgröße 10x15 cm, Herdtiefe 12 cm.

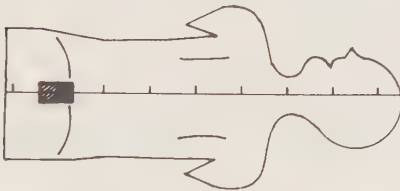
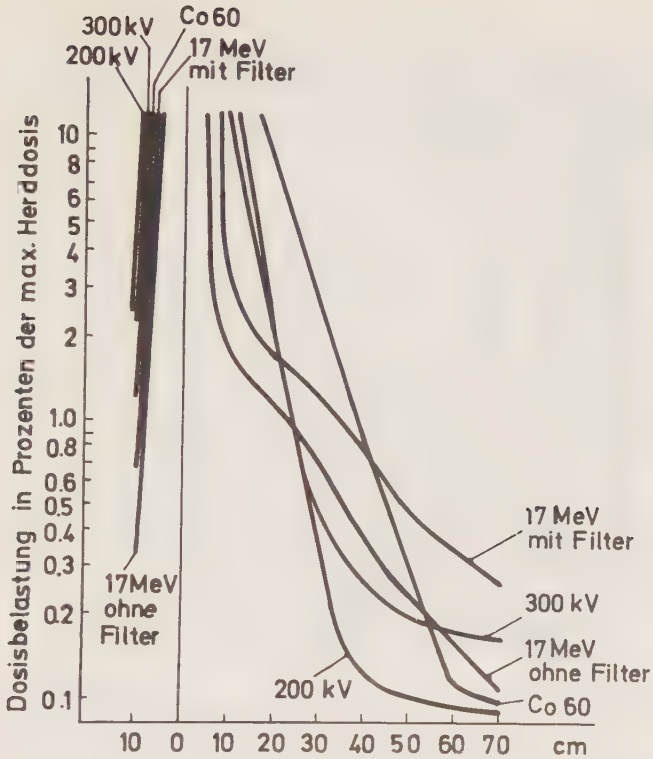


Abb. 21:

Dosisbelastung außerhalb des Nutzbündels an der Oberfläche eines Phantoms.
Bestrahlungsbedingg.: Stehfeldbestrahlung des Rectums von dorsal, Haut-
feldgröße 6x12 cm, Tumortiefe 8 cm.

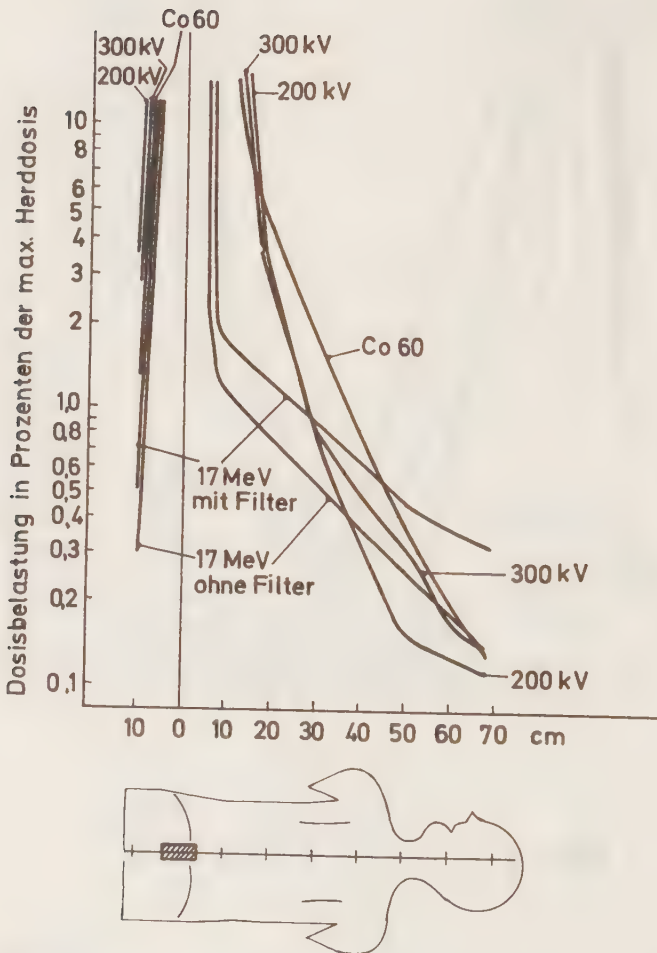


Abb. 22:

Dosisbelastung außerhalb des Nutzbündels an der Oberfläche eines Phantoms.
 Bestrahlungsbeding.: Pendelbestrahlung des Rectums von dorsal, Feld-
 gröÙe 6x12 cm, Achsentiefe 8 cm, Pendelwinkel $\pm 90^\circ$.

Die so ausgewerteten Meßergebnisse wurden in Kurven mit einem halblogarithmischen Maßstab aufgetragen. Die Ordinate hat die Bezeichnung: Prozent der Herddosis und die Abszisse: cm.

c) Gonadenschutz mit Bleiabdeckungen

Zur Ermittlung der Streustrahlenbelastung der Testes wurden Messungen mit Abdeckungen der Kammer von verschiedenen Bleigleichwerten vorgenommen. Es wurden zwei Schürzen von 0,25 mm und 0,5 mm, ein Ovarfächer mit 0,5 mm und eine festverschlossene Hodenkapsel von 1,0 mm Bleiwert benutzt. Die Schürzen wurden immer über das Phantom bis nahe an den unteren Rand des Bestrahlungsfeldes gelegt. Bei der Hodenkapsel wurde die Kammer eingeschlossen und bei dem Ovarfächer lag die Kammer genau unter dem Fächer. Der Meßort lag immer knapp caudal der Symphyse (Gegend der Testes).

IV DISKUSSION

Betrachtet man die einzelnen Kurven der Abb. Nr. 5-22, Seite 11-28, so erkennt man den erwarteten Verlauf, nämlich den Abfall der Streustrahlendosis mit zunehmender Entfernung vom Bestrahlungsfeld. Dies interessiert hier jedoch nicht in erster Linie; bei den Untersuchungen der vorliegenden Arbeit kam es vielmehr darauf an, einen Vergleich der Streustrahlenbelastung bei demselben Herd bei den einzelnen Strahlenenergien zu erarbeiten.

- a) Die Kurvenverläufe der Energien 200 und 300 kV sind einander sehr ähnlich. Die 300 kV-Strahlung zeigt dabei eine noch etwas kleinere Streustrahlendosis als die 200 kV-Strahlung.

- b) Die Kurven für Co 60 zeigen im Durchschnitt eine höhere Streudosis als die übrigen Energien. Dies erscheint zunächst überraschend; eine Erklärung hierfür dürften Streuprozesse in der Blende und andere Voraussetzungen sein. Untersuchungen am rechten Hilus (Hautfeldgröße 5 x 12 cm, Fokuserdabstand 60 cm, Herdtiefe 8 cm) mit einer zwischen Kammer und Blende eingebrachten Bleifolie von 5 mm Schichtstärke, die nur wenig außerhalb des Bestrahlungsfeldes lag, haben gezeigt, daß ein Teil der Streustrahlung in der Folie stecken bleibt. Es wurden nur noch 880 m R/min gegenüber 4600 m R/min ohne Bleifolie gemessen.

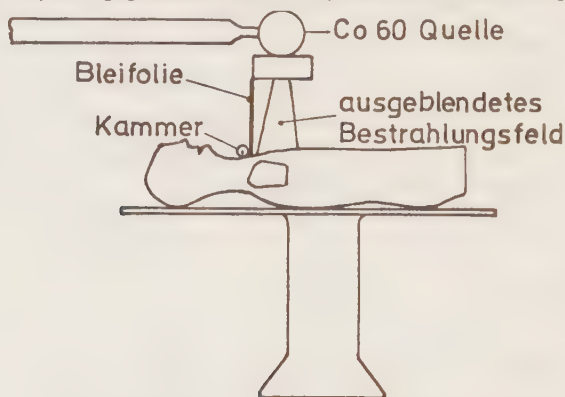


Abb. 23 Versuchsaufbau in Seitenansicht (schematisch)

Die Meßkammer konnte nur von den energiereichen Elektronen und der zurückgestreuten Strahlung getroffen werden. Weitere Untersuchungen ergaben, daß ein wesentlicher Beitrag zur Streustrahlung vom Boden und von den Wänden ausgeht; wurden Tisch und Phantom aus dem Strahlenkegel gebracht und die Meßkammer belassen, so verminderte sich die Streustrahlung nur um etwa 30 %. Es erscheint jedoch richtig, die Werte aus den graphischen Darstellungen Abb. 5-22, welche ohne Bleifolie gemessen wurden, zu verwenden, da dies sicher besser der wahren Belastung des Patienten durch die Streustrahlung entspricht.

- c) Bei den ultraharten Röntgenstrahlen beobachtet man die geringste Menge an Streustrahlung. Messungen mit dem Homogenitätsfilter Nr. 3 ergaben eine größere Streustrahlenbelastung als solche ohne das Filter, weil ein hier zum Rand homogen belastetes Feld wie ein größeres Feld wirkt. Außerdem stellt man fest, daß die ultraharten Röntgenstrahlen ab etwa 0,4 % der Herddosis nur mehr allmählich gegen 0 abfallen, während hier der Abfall der weicheren Strahlung größer ist.
- d) Der Schutz der Gonaden durch verschieden starke Bleiabdeckungen hat sich als wirksam erwiesen, wie aus den Tabellen S. 32-37 zu ersehen ist. Die Ergebnisse liegen alle unter den Meßergebnissen des vergleichbaren Ortes ohne Bleiabdeckungen. Hellriegel kam zu ähnlichen Ergebnissen (8).

Daraus kann man für die Praxis sagen, daß das einfache Darüberlegen einer Bleischürze über den zu bestrahlenden Patienten außerhalb des Primärbündels eine Verminderung der Streudosis bewirkt, denn die Bleischürze hält die von außen kommende Streustrahlung ab.

Einen vollständigen Schutz der Gonaden wird es nicht geben können, da bei Röntgenbestrahlung immer auch Streustrahlung im Körper auftritt und diese nicht völlig beseitigt werden kann. Wie aus den folgenden Tabellen ersichtlich wird, kann man die Belastung der außerhalb des Strahlungsfeldes liegenden Körperabschnitte durch Abdeckung mit Blei nur vermindern.

Tabelle 1

Streudosen an den Testes, mit und ohne Bleiabdeckungen, bei Stehfeld- und Pendelbestrahlung verschiedener Energien in Prozenten der maximalen Herddosis⁺⁺ bei der Einstellung:

<u>Hypophyse</u> (Bauchlage)			
Energie	Stehfeld- bestrahlung ++	Pendel- bestrahlung ++	
200 kV	0,078	0,074	
300 kV	0,09	0,09	<u>ohne</u>
Co 60	0,07	0,07	Abdeckung
17 MeV ⁺	0,15	0,14	
200 kV	0,07	0,065	<u>mit</u>
300 kV	0,08	0,06	Abdeckung
Co 60	0,04	0,03	Schürze
17 MeV ⁺	0,12	0,12	Pb 0,25 mm
200 kV	0,025	0,03	
300 kV	0,04	0,04	Schürze
Co 60	0,02	0,15	Pb 0,5 mm
17 MeV ⁺	0,09	0,08	
200 kV	0,03	0,03	
300 kV	0,05	0,05	Ovarfächer
Co 60	0,03	0,02	Pb 0,5 mm
17 MeV ⁺	0,1	0,1	
200 kV	0,009	0,008	
300 kV	0,03	0,04	Hodenkapsel
Co 60	0,01	0,01	Pb 1,0 mm
17 MeV ⁺	0,07	0,05	

⁺ mit Homogenitätsfilter Nr. 3

Tabelle 2

Streudosen an den Testes, mit und ohne Bleiabdeckungen, bei Stehfeld- und Pendelbestrahlung verschiedener Energien in Prozenten der maximalen Herddosis⁺⁺ bei der Einstellung:

re. Hilus

Energie	Stehfeld- bestrahlung ++	Pendel- bestrahlung ++	
200 kV	0,14	0,11	
300 kV	0,20	0,10	<u>ohne</u>
Co 60	0,35	0,13	Abdeckung
17 MeV ⁺	0,18	0,30	
200 kV	0,13	0,11	<u>mit</u>
300 kV	0,14	0,09	Abdeckung
Co 60	0,20	0,10	Schürze
17 MeV ⁺	0,17	0,20	Pb 0,25 mm
200 kV	0,10	0,08	
300 kV	0,06	0,04	Schürze
Co 60	0,08	0,07	Pb 0,5 mm
17 MeV ⁺	0,15	0,17	
200 kV	0,12	0,10	
300 kV	0,11	0,05	Ovarfächer
Co 60	0,10	0,09	Pb 0,5 mm
17 MeV ⁺	0,16	0,18	
200 kV	0,08	0,07	
300 kV	0,04	0,02	Hodenkapsel
Co 60	0,05	0,04	Pb 1,0 mm
17 MeV ⁺	0,13	0,15	

⁺ mit Homogenitätsfilter Nr. 3

Tabelle 3

Streudosen an den Testes, mit und ohne Bleiabdeckungen, bei Stehfeld- und Pendelbestrahlung verschiedener Energien in Prozenten der maximalen Herddosis⁺⁺ bei der Einstellung:

Magen (Cardia)

Energie	Stehfeld- bestrahlung ++	Pendel- bestrahlung ++	
200 kV	0, 14	0, 11	
300 kV	0, 20	0, 21	<u>ohne</u>
Co 60	0, 53	0, 46	Abdeckung
17 MeV ⁺	0, 27	0, 50	
200 kV	0, 13	0, 10	<u>mit</u>
300 kV	0, 19	0, 19	Abdeckung
Co 60	0, 45	0, 4	Schürze
17 MeV ⁺	0, 21	0, 42	Pb 0, 25 mm
200 kV	0, 10	0, 08	
300 kV	0, 15	0, 15	Schürze
Co 60	0, 26	0, 29	Pb 0, 5 mm
17 MeV ⁺	0, 12	0, 26	
200 kV	0, 12	0, 09	
300 kV	0, 17	0, 18	Ovarfächer
Co 60	0, 32	0, 34	Pb 0, 5 mm
17 MeV ⁺	0, 17	0, 31	
200 kV	0, 08	0, 07	
300 kV	0, 11	0, 09	Hodenkapsel
Co 60	0, 11	0, 12	Pb 1, 0 mm
17 MeV ⁺	0, 08	0, 18	

⁺ mit Homogenitätsfilter Nr. 3

Tabelle 4

Streudosen an den Testes, mit und ohne Bleiabdeckungen, bei Stehfeld- und Pendelbestrahlung verschiedener Energien in Prozenten der maximalen Herddosis⁺⁺ bei der Einstellung:

re. Niere

Energie	Stehfeld- bestrahlung ⁺⁺	Pendel- bestrahlung ⁺⁺	
200 kV	0,55	0,23	
300 kV	0,72	0,22	<u>ohne</u>
Co 60	0,50	0,33	Abdeckung
17 MeV ⁺	0,45	0,40	
200 kV	0,50	0,2	<u>mit</u>
300 kV	0,68	0,20	Abdeckung
Co 60	0,45	0,29	Schürze
17 MeV ⁺	0,32	0,34	Pb 0,25 mm
200 kV	0,32	0,08	
300 kV	0,44	0,1	Schürze
Co 60	0,3	0,12	Pb 0,5 mm
17 MeV ⁺	0,2	0,12	
200 kV	0,45	0,15	
300 kV	0,55	0,16	Ovarfächer
Co 60	0,39	0,19	Pb 0,5 mm
17 MeV ⁺	0,26	0,26	
200 kV	0,14	0,04	
300 kV	0,3	0,06	Hodenkapsel
Co 60	0,20	0,09	Pb 1,0 mm
17 MeV ⁺	0,09	0,08	

⁺ mit Homogenitätsfilter Nr. 3

Tabelle 5 und 6

Streudosen an den Testes, mit und ohne Bleiabdeckungen, bei Stehfeld- und Pendelbestrahlung verschiedener Energien in Prozenten der maximalen Herddosis⁺⁺ bei den Einstellungen:

Blase

Energie	Stehfeld- bestrahlung ++	Pendel- bestrahlung ++	
200 kV	6, 8	6, 4	
300 kV	5, 9	5, 2	<u>ohne</u>
Co 60	8, 9	7, 0	Abdeckung
17 MeV ⁺	3, 6	3, 2	
200 kV	4, 2	3, 15	<u>mit</u>
300 kV	2, 9	2, 27	Abdeckung
Co 60	6, 58	2, 8	Hodenkapsel
17 MeV ⁺	1, 57	1, 5	Pb 1, 0 mm

+ mit Homogenitätsfilter Nr. 3

Parametrium

Energie	Stehfeld- bestrahlung ++	
200 kV	5, 9	
300 kV	4, 2	<u>ohne</u>
Co 60	5, 9	Abdeckung
17 MeV ⁺	1, 7	
200 kV	4, 0	<u>mit</u>
300 kV	3, 5	Abdeckung
Co 60	2, 6	Ovarfächer
17 MeV ⁺	0, 6	Pb 0, 5 mm

+ mit Homogenitätsfilter Nr. 3

Tabelle 7 und 8

Streudosen an den Testes, mit und ohne Bleiabdeckungen, bei Stehfeld- und Pendelbestrahlung verschiedener Energien in Prozenten der maximalen Herddosis⁺⁺ bei den Einstellungen:

Hüftarthrose

Energie	Stehfeld- bestrahlung	++	
200 kV	16,0		
300 kV	9,0		<u>ohne</u>
Co 60	7,5		Abdeckung
17 MeV ⁺	3,8		
200 kV	9,6		<u>mit</u>
300 kV	4,2		Abdeckung
Co 60	2,8		Ovarfächer
17 MeV ⁺	1,4		Pb 0,5 mm
200 kV	7,2		
300 kV	3,0		Hodenkapsel
Co 60	1,1		Pb 1,0 mm
17 MeV ⁺	0,3		

⁺ mit Homogenitätsfilter Nr. 3

Rectum

Energie	Stehfeld- bestrahlung	++	Pendel- bestrahlung	++	
200 kV	3,7		2,4		
300 kV	2,8		2,2		<u>ohne</u>
Co 60	1,5		1,3		Abdeckung
17 MeV ⁺	0,7		0,5		
200 kV	1,6		1,1		<u>mit</u>
300 kV	1,2		1,0		Abdeckung
Co 60	0,8		0,7		Hodenkapsel
17 MeV ⁺	0,2		0,09		Pb 1,0 mm

⁺ mit Homogenitätsfilter Nr. 3

V ZUSAMMENFASSUNG

Es wurden vergleichende Streustrahlungsmessungen an der Oberfläche eines gewebeäquivalenten Phantoms mit eingearbeitetem Skelett bei Stehfeld- und Pendelbestrahlungen verschiedener Körperorgane - Hypophyse, re. Hilus, Magen (Cardia), re. und lk. Niere, Blase, re. Parametrium, Rectum und Hüftarthrose - durchgeführt. Folgende Energien wurden verwandt: 200 kV, 300 kV, Co 60, 17 MeV-Röntgenstrahlen mit und ohne Homogenitätsfilter Nr. 3. Gemessen wurde mit einem englischen Dosimeter von Electronic Instruments Ltd 37 A.

Die Tabellen 9 und 10, Seite 39, zeigen vergleichend bei verschiedenen Energien die durchschnittliche Streustrahlenbelastung des Körpers bei Stehfeld- und Pendelbestrahlung der Hypophyse, des rechten Hilus, des Magens (Cardia) und der linken und rechten Niere in 10 cm Abständen vom Nutzbündel.

Der Gradient des Streustrahlenabfalls außerhalb des Nutzbündels ist bei der 17 MeV-Röntgenstrahlung am steilsten, bei den Energien 200 kV und 300 kV etwas weniger steil und bei Co 60 am flachsten. Wie zum Beispiel die Pendelbestrahlung der rechten Niere (Feldgröße 6 x 12 cm, Achsentiefe 14 cm) zeigt, beträgt die Menge der Streustrahlung 20 cm caudal des Nutzbündels für

200 kV	0,68)	
300 kV	0,64)	
Co 60	1,8)	
17 MeV ⁺	0,53)	Prozent der maximalen
17 MeV	0,32)	Herddosis

⁺ mit Homogenitätsfilter Nr. 3

Tabelle 9

Mittlere Dosisbelastung in Prozenten der maximalen Herddosis außerhalb des Nutzbündels bei Stehfeldbestrahlung an der Oberfläche eines Phantoms

Energie	10 cm	20 cm	30 cm	40 cm	50 cm	60 cm	70 cm	80 cm
200 kV	6,17	1,78	0,46	0,20	0,12	0,078	0,058	0,051
300 kV	5,62	1,50	0,59	0,33	0,24	0,17	0,13	0,10
Co 60	6,62	2,18	1,03	0,48	0,22	0,11	0,07	0,05
17 MeV m. Filter ⁺	2,45	0,93	0,63	0,44	0,38	0,32	0,27	0,18
17 MeV o. Filter	1,40	0,51	0,33	0,25	0,21	0,17	0,13	0,1

⁺ mit Homogenitätsfilter Nr. 3

Tabelle 10

Mittlere Dosisbelastung in Prozenten der maximalen Herddosis außerhalb des Nutzbündels bei Pendelbestrahlung an der Oberfläche eines Phantoms

Energie	10 cm	20 cm	30 cm	40 cm	50 cm	60 cm	70 cm	80 cm
200 kV	4,79	1,08	0,33	0,24	0,18	0,027	0,017	0,015
300 kV	4,44	1,3	0,45	0,33	0,24	0,18	0,14	0,12
Co 60	6,0	2,25	0,84	0,43	0,21	0,12	0,08	0,07
17 MeV m. Filter ⁺	1,77	0,86	0,56	0,41	0,37	0,34	0,29	0,18
17 MeV o. Filter	1,06	0,51	0,30	0,23	0,20	0,17	0,14	0,10

⁺ mit Homogenitätsfilter Nr. 3

Die Abdeckung der Testes durch Blei unterschiedlicher Schichtstärke hat sich als wirksam erwiesen. Das zeigte das einfache Darüberlegen einer Bleischürze mit einem Bleigleichwert von 0,5 mm im Vergleich zu Werten ohne Abdeckung bei einer Stehfeldbestrahlung des rechten Hilus (Hautfeldgröße 5 x 12 cm, Tumortiefe 8 cm):

Energie	ohne Abdeckung	Schürze Pb 0,5 mm
200 kV	0,14	0,1)
300 kV	0,20	0,06)
Co 60	0,35	0,08)
17 MeV ⁺	0,18	0,15)

+ mit Homogenitätsfilter Nr. 3

Besseren Strahlenschutz gewährte die Verwendung einer Hodenkapsel von 1 mm Bleigleichwert. Es ergaben sich dann bei derselben Einstellung wie oben folgende Strahlenbelastungen:

Energie	ohne Abdeckung	Hodenkapsel Pb 1 mm
200 kV	0,14	0,08)
300 kV	0,20	0,04)
Co 60	0,35	0,05)
17 MeV ⁺	0,18	0,13)

+ mit Homogenitätsfilter Nr. 3

VI LITERATURVERZEICHNIS

- 1) Claus/Gräfe:
"Grundlagen der Strahlenkunde"
Theodor Steinkopff, Dresden 1966
- 2) Glocker und Macherauch:
"Röntgen- und Kernphysik für Mediziner
und Biophysiker"
Georg Thieme, Stuttgart 1965
- 3) Balz G., Birkner R. und F. Wachsmann:
"Experimentelle Untersuchungen über die Absorption
von Röntgenstrahlen in verschiedenen Geweben"
Strahlentherapie 97, 382-388 (1955)
- 4) Regler F.:
"Einführung in die Physik der Röntgen-
und Gammastrahlen"
Karl Thiernig, München 1966
- 5) Johns H. E.:
"The Physics of Radiology"
Ch. Thomas, Springfield 1966
- 6) Hettinger G.:
"Angular And Spectral Distributions Of Backscatter
Radiation From Slabs Of Water, Brass, And Lead
Irradiated By Photons Between 50 And 250 KeV"
Acta Radiologica (Stockh.) 54, 129-153 (1960)

- 7) Hettinger G. und N. Starfelt:
"Energy And Angular Distribution Of Scattered
Radiation In A Water Tank Irradiated By
X-Rays"
Arkiv för Fysik 14, 497-511 (1959)
- 8) Wachsmann F. und A. Dimotsis:
"Kurven und Tabellen für die Strahlentherapie"
S. Hirzel, Stuttgart (1957)
- 9) Hellriegel W.:
"Die Verteilung der Streustrahlendosis im
Körper bei der Röntgenbestrahlung"
Strahlentherapie 100, 153-164 (1956)
- 10) SRW:
Betriebsanleitung für Betatron
- 11) Distel L., Drexler G. und F. Wachsmann:
"Praktische Gesichtspunkte für die Anwendung
von Strahlungsmeßgeräten und Taschendosimetern"
Atompraxis 2, 39-44 (1963)
- 12) Rakow A. und W. Will:
"Absolute Darstellung der Röntgeneinheit im
Energiebereich der Co 60 - γ - Strahlung
mit Hohlraumionisationskammern"
Kernenergie 6, 496-504 und 546-552 (1963)
- Rakow A. und L. Richter:
"Zur Absolutbestimmung der Röntgeneinheit im
Energiebereich der konventionellen Röntgentherapie"
Radiobiol. Radiother. (Berl.) 4, 745-750 (1963)

- 13) Rossbänder W., Abel H. und L. Wetzel:
"Vergleichende Untersuchungen an Strahlenschutzdosimetern für γ - Strahlung"
Kernenergie 11, 766-773 (1964)
- 14) Kepp und Martius:
"Grundlagen der Strahlentherapie"
Georg Thieme, Stuttgart (1952)
- 15) Keller H. L. :
"Dosisverteilung und Dosismessung bei der Pendelbestrahlung"
(200 kV - 17 MeV)
Urban & Schwarzenberg, München-Berlin (1964)
- 16) Keller H. L. und Sam RoK Je:
"Faktoren zur Berücksichtigung nicht wasseräquivalenter Gewebe bei Strahlungen zw. 200 kV und 17 MeV "
Strahlentherapie 122, 531-540 (1963)

Herrn Priv. Doz. Dr. H.L. Keller möchte ich für die Überlassung des Themas und für die Übernahme des Referates danken.

Außerdem danke ich dem Institut für Medizinische Strahlenkunde, insbesondere Herrn Prof. Dr.Dr.H. Pauly, für die Benützung der Geräte.

Weiter möchte ich Herrn Dipl. Phys. Th. Schmidt für die hilfreiche Unterstützung meiner Arbeit und meiner Frau für die Übernahme der Schreibarbeiten danken.

VII LEBENS LAUF

Ich, Ulf Lorenz, wurde am 21.5.1941 in Schwäbisch Hall als Sohn des prakt. Arztes, Dr. med. Klaus Lorenz und seiner Ehefrau Brigitte, geb. Veerhoff, geboren.

In Brettheim, Kr. Crailsheim, besuchte ich von 1947 bis 1951 die Volksschule und vom Frühjahr 1951 an die Oberrealschule in Crailsheim und Oberstdorf/Allg., wo ich im Juli 1961 mein Abitur bestand. Mein Medizinstudium begann ich im Herbst 1961 an der Friedrich-Alexander-Universität zu Erlangen-Nürnberg, 1962 im Sommer legte ich in Erlangen das Vorphysikum und zwei Jahre später, 1964, die ärztliche Vorprüfung ab. Das 2. klinische Semester studierte ich an der Universität Graz/Österreich. Das Medizinische Staatsexamen habe ich im Frühjahr 1968 in Erlangen abgelegt.

Offsetdruck - Fotodruck

Josef Hogl

8520 Erlangen, Hauptstr. 109, (Nähe Martin-Luther-Platz,) Tel. 22990

Offsetdruck-Fotodruck

J. Hogl, 852 Erlangen, Hauptstr. 109, (Nähe Martin-Luther-Platz) Tel. 22990
